8 种海南花叶藓科植物茎叶形态解剖结构观察

沙伟，刘丽丽，马天意，张艳馥，张梅娟*[*]

（齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院，黑龙江 齐齐哈尔 161006）

摘　要：选取海南省国产 5 属 8 种花叶藓科（Calymperaceae）植物（鞘刺网藓、卷叶网藓、匍网藓、黄匍网藓、兜叶花叶藓、梯网花叶藓、八齿藓、刺肋白睫藓），采用石蜡切片及扫描电镜技术，从形态解剖学角度，通过对茎叶的形态解剖结构及表面微形态观察，比较各藓类植物茎叶的形态特征、内部解剖结构、中肋及表面纹饰间的差异，以期对 8 种花叶藓科植物进行区分。结果表明：8 种植物的茎叶解剖结构，包括茎的横切面的形状、有无中轴细胞的分化、细胞层数，叶片中肋横切面中央主细胞的数量、位置、背腹面细胞表面光滑粗糙程度以及叶细胞中绿色细胞的形状均具明显区别。8 种花叶藓科植物茎横切面椭圆形至圆形；除八齿藓及白睫藓中肋不具有中央主细胞外，其他种中肋中央主细胞数量均不同，中央主细胞基本位于中肋中央；梯网花叶藓背面细胞壁具有较多短纵纹；只有八齿藓茎横切结构中具中轴细胞的分化。该文结果对藓类植物属种间的区分具有重要的分类学意义，可为更多花叶藓科植物的鉴定和分类奠定基础。

关键词：花叶藓科，茎，叶，形态解剖，分类

中图分类号：Q944.1　　　　　　**文献标志码：A**

DOI：10.11931/guihaia.gxzw201801019

Morphological and anatomical structural observation of stems and leaves of eight species of Calymperaceae in Hainan

SHA Wei，LIU Lili，MA Tianyi，ZHANG Yanfu，ZHANG Meijuan*

（*College of Life Sciences*，*Agriculture and Forestry*，*Qiqihar University*，Qiqihar，161006，Heilongjiang，China）

Abstract: The morphological characteristics and micromorphological structures of eight species in Calymperaceae，which are belonging to five different genera in total，was investigated in this research. The 8 species are *Syrrhopodon armatua*，*Syrrhopodon involutus*，*Mitthyridium fasciculatum*，*Mitthyridium flavum*，*Calymperes moluccense*，*Calymperes afzelii*，*Octoblphaerum albidum* and *Leucophane albescens*，the plants were collected from Hainan Province，China. The morphological characteristics and micromorphological structures studied in this research were including internal anatomical structures of stems and leaves，differences comparison in costa and cell surface，using paraffin section and scanning electron microscopy techniques, and morphological observation. The results showed the anatomical structures of stems and leaves of the eight species are obviously different，including stem cross-sectional shape，axial cell differentiation，cell layers，the number and location of the central main cells in costa and the smooth and rough of the dorsal and ventral cells and the shape of chlorophyllose cell. Stem cross sections were oval to circular in the eight species and the number of central main cells is different，and the main cells located on central of the costa，except *Octoblphaerum albidum* and *Leucophane albescens*，the dorsal cell wall was short wrinkle in *Calymperes afzelii*. Only the cross-sectional structure of *Octoblphaerum albidum* was with axial cell differentiation. This study performs significance for distinguishing moss genus and species，and lays a foundation for identification and taxonomy of Calymperaceae plants.

[*] **收稿日期：2018-01-16**

基金项目：国家自然科学基金（3157010566）；黑龙江省教育厅基本业务专项（135209262） [Supported by National Natural Science Foundation（3157010566）；Department of Education Basic Program of Heilongjiang Province（135209262）]。

作者简介：沙 伟（1963-），女，黑龙江齐齐哈尔人，博士，博士生导师，主要从事苔藓植物分类学的研究。（E-mail）shw1129@263.net。

***通讯联系人：**张梅娟，博士，讲师，主要从事苔藓植物分类的研究，（E-mail）zhangmeijuan_002@163.com。

Key words: Calymperaceae，stem，leaf，morphological anatomy，taxonomy

海南省位于中国的最南部，吊罗山国家森林公园位于海南岛东南部，处 18°43′—18°58′N，109°43′—110°03′E，属热带海洋季风气候，雨量充沛，环境潮湿，植被丰富，在这里有很多藓类植物。藓类植物是个体微小，没有维管组织的一类较原始的高等植物（胡人亮，1987），在植物界的系统演化中，代表着从水生到陆生逐渐过渡的类型，是极端环境的拓荒者之一（蒋洁云，2009），在维持生态平衡以及探索植物的起源和演化方面起到了重要的作用（陈勤等，2013）。

藓类植物的解剖学研究是从对藓类植物标本的采集、认识、分类工作开始的，由于藓类植物形态较小，单纯地从外部形态特征上进行系统分类比较困难，一般采用外部形态特征和内部结构特征相结合的方式进行比较、区分。因此，形态解剖可作为藓类植物分类的科学依据之一。

多年来，国内外学者在藓类植物的形态、分类和区系等方面做出了比较深入的研究，但对茎叶解剖结构的研究还相对较少。目前，已有一些国内学者对藓类植物茎叶解剖结构进行了研究。二十世纪六十至九十年代，陈邦杰等对藓类植物的茎形态结构及类型进行了初步总结（陈邦杰等，1963），为藓类植物相关工作奠定了基础。韩留福（1999）对 7 种中国产提灯藓科（Mniaceae）植物的叶片进行了研究，认为叶的解剖结构可作为其属种间的分类依据；王虹（2002）通过石蜡切片和扫描电镜的方法对五种紫萼藓科（Grimmiaceae）植物茎及叶进行了解剖学观察，其结果表明，虽属同一科藓类，不同种植物的茎、叶内部结构及叶表面角质层纹饰、叶细胞皱褶等均有所差别；王虹（2008）对在冰川一号地区终年寒冷环境下生长的 4 种藓类植物的结构进行了比较解剖学研究，发现不同藓类植物茎叶的内部结构明显不同，认为解剖学可为藓类植物分类学提供一定的科学依据；沙伟（2008）对中国产异蒴藓属（*Lyellia*）植物形态解剖进行了比较观察，发现异蒴藓属在金发藓科（Polytrichaceae）中气孔较明显属于进化性状，而孢壁纹饰则属于原始性状，为藓类植物的分类提供一定的科学依据；蒋洁云（2010）通过对 7 种藓类植物茎不同部位分段横切的观察研究，发现茎基部到茎顶端的形状差异是逐步变化的，这与假根的存在和叶在茎上的着生位置有关；王虹（2014）等对丛藓科（Pottiaceae）植物进行了解剖学观察研究，结果发现不同藓类植物的茎叶细胞壁明显不同，可为该科植物属、种的鉴定提供了重要的分类依据；艾菲热 阿布都艾尼和王虹（2016）又对乌鲁木齐河源区 10 种真藓属（*Bryum*）植物的茎进行了解剖学分析，发现茎细胞表面角质层纹饰多为鳞片状或颗粒状，这些可能是植物在长期恶劣环境下的生存策略，揭示了真藓属植物茎具有较强耐寒、耐旱结构的典型特征。然而，目前国内对于花叶藓科（Calymperaceae）植物茎叶结构的研究仍然较少。

花叶藓科植物是顶蒴藓类（Haplolepideous）植物中重要组成部分。花叶藓科植物全世界先后记录 8 属，约 357 种，中国仅记录 6 属 35 种 2 变种（贾渝和何思，2012）。由于这个庞大且具多种变异的科内建立了很多类群，导致该科的系统学位置、属的范围及界定标准一直备受争议，在丛藓目（Pottiales）和曲尾藓目（Dicranales）中多次移动。

花叶藓科一词第一次出现于 Müller 的《*Synopsis*》中，以亚族的形式出现，包含大帽藓属（*Encalypta*），花叶藓属（*Calymperes*）和网藓属（*Syrrhopodon*）（Fisher et al，2007）。Kindberg（1897）才对花叶藓科确立了科的地位，但仅有花叶藓属 1 属，网藓属被放到了丛藓科（Pottiaceae）内。Brotherus（1924）又对花叶藓科和网藓科重新进行了整合，保留了花叶藓科，把网藓属、花叶藓属、拟花叶藓属（*Calymperopsis*）、*Thyridium* 属（即匍网藓属 *Mitthyridium*）和 *Hypodontium* 属等 5 属放入花叶藓科，同时将白睫藓属（*Leucophanes*）移出花叶藓科。按照 Brotherus 的分类系统，花叶藓科隶属于丛藓目，且位于曲尾藓目之前。Vitt（1984）认为花叶藓科应位于丛藓目中，置于曲尾藓目前。随着研究的深入，许多研究学者建议将白发藓科（Leucobryaceae）和花叶藓科进行合并，并提出白睫藓属的概念，同时认为，白睫藓属、八齿藓属（*Octoblepharum*）以及外网藓属（*Exodctyon*）应为花叶藓科的组成部分（Andrews，1947）。La Farge（2000）等利用 3 个叶绿体基因片段（*rbc*L，*rps*4，*trn*L-F）对花叶藓科的系统位置进行研究，结果表明，八齿藓属与花叶藓科在谱系上较为密切，但仍应单独成立一个新科，即八齿藓科（Octoblepharaceae），而白睫藓属和拟外网藓属（*Exostratum*）镶嵌在网藓属内，应归入花叶藓科内；同时，花叶藓科和八齿藓科与曲尾藓科（Dicranaceae）和白发藓科被发现位于同一进化枝，而与丛藓目中的丛藓科明显位于不同进化枝，应归入曲尾藓目，位于丛藓目之后。Frey 和 Stech（2009）在花叶藓科分类学研究中同样认为花叶藓科应位于曲尾藓目中，但认为八齿藓属应置于花叶藓科中。直至，贾渝和何思（2012）出版了《中国生物

物种名录第一卷植物：苔藓植物》一书，将中国花叶藓科植物置于曲尾藓目中，并位于丛藓目之前，包括 6 属：网藓属、匍网藓属、花叶藓属、白睫藓属、八齿藓属和拟外网藓属。据相关文献记载与描述，将八齿藓属和白睫藓属放于花叶藓科中是由于其在形态上如叶片具短尖，中肋明显，基部具透明叶细胞，叶尖具芽孢及蒴齿特征与花叶藓科其他属较为相似（Santos & Stech，2016）。目前，对于花叶藓科的描述及研究则是按照贾渝和何思（2012）的编著。

本研究以采自海南省吊罗山的花叶藓科内 5 属 8 种藓类植物为材料进行形态解剖学及扫描电镜观察，为花叶藓科植物的分类提供一定的科学依据。

1　材料与方法

1.1　实验材料

本研究以采于海南省吊罗山的 5 属 8 种花叶藓科植物为实验材料，信息详见表 1。

表 1　实验材料及来源

Table 1 Material and origin

序号 Number	种名 Species name	所在属名 Genus name	生境 Habitat	海拔 Altitude（m）	凭证标本 Voucher
1	鞘刺网藓	网藓属	树生	900	沙伟（201603037）
	Syrrhopodon armatua	*Syrrhopodon*	Tree		Sha wei（201603037）
2	卷叶网藓	网藓属	树生	910	沙伟（2016010019）
	Syrrhopodon involutus	*Syrrhopodon*	Tree		Sha wei（2016010019）
3	匍网藓	匍网藓属	树生	900	沙伟（2016010045）
	Mitthyridium fasciculatum	*Mitthyridium*	Tree		Sha wei（2016010045）
4	黄匍网藓	匍网藓属	树生	930	沙伟（2016010014）
	Mitthyridium flavum	*Mitthyridium*	Tree		Sha wei（2016010014）
5	兜叶花叶藓	花叶藓属	树生	900	沙伟（2016010009）
	Calymperes moluccense	*Calymperes*	Tree		Sha wei（2016010009）
6	梯网花叶藓	花叶藓属	树生	900	沙伟（2016010046）
	Calymperes afzelii	*Calymperes*	Tree		Sha wei（2016010046）
7	八齿藓	八齿藓属	树生	900	沙伟（2016010032）
	Octoblphaerum albidum	*Octoblphaerum*	Tree		Sha wei（2016010032）
8	刺肋白睫藓	白睫藓属	树生	905	沙伟（2016010002）
	Leucophane albescens	*Leucophane*	Tree		Sha wei（2016010002）

1.2　方法

采用石蜡切片法进行茎叶解剖结构的观察研究。分别将实验材料洗净，用比例为 18：1：1 的福尔马林-醋酸-乙醇（FAA）固定液固定 24 h，经乙醇溶液（50%、70%、85%、95%、100%）梯度脱水，每级 2 h、在 42℃恒温箱内经 1%番红及 0.5%固绿的混合染剂染色 24 h、二甲苯透明、石蜡包埋、切片机（上海医疗器械四厂）切片（厚度 10 nm），再用二甲苯脱蜡透明 2 次，每次 5 min、中性树胶封片。将处理好的装片置于 Olympus BX43（Tokyo，Japan）显微镜下观察拍照，CCD 型号：DP74。使用 CellSens Entry 软件进行图像采集。

采用扫描电镜技术对茎叶表面结构进行观察。将实验材料充分复水后，使用 KQ3200DE 型数控超声波

清洗器洗净，将植物的茎叶分离开，分别使用 FAA 固定液进行固定，经乙醇溶液（50%、70%、85%、95%、100%）梯度脱水，每级 2 h，再将样品的茎叶固定在样品台上，待干燥后喷金、扫描电镜（S-4300，日立公司，日本）观察后保留图像。

表 2 8 种花叶藓科植物茎细胞形态特征观察

Table 2 Morphological features of the stem cells of 8 species in Calymperaceae

种 名 Species name	表皮厚度 Epidermal thickness（μm）	皮部面积 Cortex area（μm^2）	中轴面积 2 Axis area（μm^2）	茎表面 Steam surface	图版 Plate
鞘刺网藓 *Syrrhopodon armatua*	8.28-11.23	133.76-165.84	无中轴的分化 No axis differentiation	茎干时表面粗糙，拧状，具假根毛 Dry stems are screwed，with rough surface，and with rhizoid hairs	图版Ⅲ：1 图版Ⅳ：1-3 Plate Ⅲ：1 Plate Ⅳ：1-3
卷叶网藓 *Syrrhopodon involutus*	7.22-9.42	69.12-80.56	无中轴的分化 No axis differentiation	茎干时拧状，表面光滑，细胞壁不同程度凹陷 Dry stems are screwed，with smooth surface；depressions were found in various degree on the cell wall	图版Ⅲ：2 图版Ⅳ：4-6 Plate Ⅲ：2 Plate Ⅳ：4-6
匍网藓 *Mitthyridium fasciculatum*	10.04-12.29	158.96-185.89	无中轴的分化 No axis differentiation	茎表面光滑，细胞壁凹陷较浅 Stem surface is smooth，depressions of cell wall were shallow	图版Ⅲ：3 图版Ⅳ：7-9 Plate Ⅲ：3 Plate Ⅳ：7-9
黄匍网藓 *Mitthyridium flavum*	8.63-12.7	138.61-176.49	无中轴的分化 No axis differentiation	茎干时拧状，表面细胞壁呈网眼状凹陷，相邻细胞壁较厚，部分呈挤压状形成深沟 Dry stems are screwed，surface cell walls were with mesh depressions，border cell walls were thick，and some were press into deep grooves	图版Ⅲ：4 图版Ⅳ：10-12 Plate Ⅲ：4 Plate Ⅳ：10-12
兜叶花叶藓 *Calymperes moluccense*	10.29-14.98	134.61-176.49	无中轴的分化 No axis differentiation	茎干时稍拧，表面较光滑，细胞不同程度的凹陷，相邻细胞壁较厚 Dry stems are slightly screwed，depressions were found in various degree on the cell wall，border cell walls were thick	图版Ⅲ：5 图版Ⅳ：13-15 PlateⅢ：5 Plate Ⅳ：13-15
梯网花叶藓 *Calymperes afzelii*	13.17-14.98	159.00-172.66	无中轴的分化 No axis differentiation	茎表面具假根毛，细胞壁薄，细胞壁不同程度的凹陷，部分呈深沟状 Rhizoid hairs were found on the stem surface，cell walls were thin，and some were press into deep grooves	图版Ⅲ：6 图版Ⅳ：16-18 Plate Ⅲ：6 Plate Ⅳ：16-18
八齿藓 *Octoblphaerum albidum*	12.7-13.11	68.20-73.12	40.93-45.17	茎表面具假根毛，细胞壁薄，细胞壁不同程度的凹陷，部分呈深沟状 Rhizoid hairs were found on the stem surface，cell walls were thin，and some were press into deep grooves	图版Ⅲ：7 图版Ⅳ：19-21 Plate Ⅲ：7 Plate Ⅳ：19-21
刺肋白睫藓 *Leucophane albescens*	18.30-22.73	129.47-174.72	无中轴的分化 No axis differentiation	茎干时稍拧，细胞壁较薄，呈网眼状凹陷，相邻细胞壁较高，呈挤压状，类似于深沟 Dry stems are slightly screwed，cell walls were relatively thin，border cell walls were	图版Ⅲ：8 图版Ⅳ：22-24 Plate Ⅲ：8 Plate Ⅳ：22-24

relatively high and depressed，similar to groove shape

2 结果与分析

2.1 鞘刺网藓

植物体矮小，暗褐绿色。叶片长披针形，边缘内卷，鞘部边缘具 4~8 条长而弯曲的纤毛（图版Ⅰ：1-4），中肋直到叶尖，背腹面均有棘刺，具单疣；叶片上部绿色细胞圆方形，绿色细胞与网状细胞交界处呈凸圆形。中肋中央具 4 个主细胞，大型薄壁细胞，背、腹表皮细胞差别不大，背面小型厚壁细胞层数稍多于腹面的层数，导水主细胞基本上在中肋的中部（图版Ⅱ：1）。叶腹面细胞表面粗糙，有不规则纵纹，具有乳突状疣，中肋具棘刺；叶背面中肋具较长棘刺，基部细胞表面光滑（图版Ⅳ：1-2）。茎横切面近圆形，细胞为不规则多边形。表皮细胞 1 层，较小，长方形或不规则六边形。皮部无内外皮部分化，具 2~3 层体积大的薄壁细胞，不规则多边形，皮部大型细胞间杂小型细胞，胞壁增厚明显，无中轴分化（图版III：1）。茎干时表面粗糙，拧状，具假根毛（图版Ⅳ：3）。

2.2 卷叶网藓

小形藓类，植物体柔弱、灰白色至淡绿色。茎多分枝，直立。叶密集，干时松散，不卷曲，叶片卵披针形，顶端短尖，叶边全缘；网状细胞由基部向上延伸近达叶片先端；中肋细长，直达叶尖或突出叶尖外（图版Ⅰ：5-8），先端背侧具细疣；中肋横切面有 1~2 个中央主细胞，背腹细胞层胞壁略加厚。叶片细胞大而透明，近边缘细胞逐渐减小（图版Ⅱ：2）。叶腹面较光滑，腹面中肋细胞强烈凹陷，细胞呈长方形规则排列；叶背面光滑，中肋凸起，细胞呈长条状（图版Ⅳ：4-5）。茎横切面近五边形，表皮细胞 1 层，小型，皮部无内外皮部分化，具 2 层大型薄壁细胞，细胞不规则多边形，无中轴分化（图版III：2）。茎干时拧状，表面光滑，细胞壁不同程度凹陷（图版Ⅳ：6）。

2.3 匍网藓

黄绿色，基部棕褐色。主茎匍匐横生，基部密被红褐色假根，干时略弯曲。叶片阔披针形，略有波纹，鞘部阔大，上部渐狭，具芽孢的叶片先端圆钝或圆钝有小突尖，绿色细胞与网状细胞呈平波状相嵌（图版Ⅰ：9-12）。中肋横切面呈背凸状，具 3~4 个中央主细胞，其背面细胞小，腹部细胞稍大，背厚壁细胞 3~7 层，背面小型厚壁细胞层数多于腹面的层数，导水主细胞基本上在中肋的中部（图版Ⅱ：3）。叶腹面细胞表面粗糙，细胞壁有凹陷，表面密布不规则疣，中肋具少数突起及纵纹；背面细胞表面粗糙，具叉状疣，中肋背凸具长纵纹（图版Ⅳ：7-8）。茎横切面近椭圆形，表皮细胞 1 层，其内部为体积大型的薄壁细胞，并夹杂着小型的薄壁细胞，无明显的内外皮部细胞分化。无中轴细胞分化（图版III：3）。茎表面较光滑，细胞壁凹陷较浅（图版Ⅳ：9）。

2.4 黄匍网藓

密集丛生，较细小的藓类。茎端有不明显的鞭状短枝。叶片干时扭卷，从一个短而阔、抱茎的基部向上延伸，呈卵状阔披针形，有短尖，叶边直立，具波纹，叶片中部以上边缘有细胞突齿；中肋在叶尖消失；网状细胞呈不规则梯形插入绿色细胞内（图版Ⅰ：13-16）。中肋横切面呈背凸状，具 4 个中央主细胞，腹表皮细胞较大，背面小型厚壁细胞层数多于腹面的层数，导水主细胞靠近腹面（图版Ⅱ：4）。叶腹面细胞表面较粗糙，相邻细胞壁呈较高的乳突状凸起，中肋有少数细小颗粒及疣；叶背部细胞表面粗糙，密被乳头突状疣，中肋具长纵纹（图版Ⅳ：10-11）。茎横切面近圆形，表皮和外皮部具 2~3 层厚壁细胞，内部为体积较大的薄壁细胞，细胞为不规则多边形，具明显的内外皮部的分化，无中轴细胞的分化（图版III：4）。茎干时拧状，表面细胞壁呈网眼状凹陷，相邻细胞壁较厚，有的呈挤压状形成深沟（图版Ⅳ：12）。

2.5 兜叶花叶藓

植物体粗壮、丛集，紧贴呈垫状，黄绿色，老时墨绿色。茎直立，叶干时同向弯曲，湿时直立展出，由极宽阔、卵形或倒卵形的鞘部逐渐延长，呈阔匙形；叶细胞圆或呈不规则多角形，背部具尖锐单疣，腹面具乳头突；中肋强壮，近达叶尖。网状细胞与绿色细胞呈平截或圆凸形，鞘部上有 4~7 行嵌条细胞（图版Ⅰ：17-20）。中肋横切面具 6~8 个中央主细胞和背腹厚壁层，背腹细胞较大，但背表皮细胞稍小于腹表皮细胞，主细胞基本位于中肋中部（图版Ⅱ：5）。腹面叶细胞表面较光滑，但中肋较粗糙，具短纵纹和

小突起；背部细胞表面粗糙，密布规则小疣，相邻细胞壁称较高的乳突状凸起与疣混在一起，中肋具长棘刺（图版Ⅳ：13-14）。茎横切面椭圆形，表皮和外皮部具 1~2 层厚壁细胞。内部为体积较大的薄壁细胞，细胞为不规则六边形，无中轴细胞分化（图版III：5）。茎干时稍拧，表面较光滑，细胞不同程度的凹陷，相邻细胞壁较厚（图版Ⅳ：15）。

2.6 梯网花叶藓

黄绿色，老时棕色的小形藓类。茎直立单一，叶干时扭卷，卵披针形，边缘有细胞突齿；中肋直达叶尖，或突出叶尖外，绿色细胞近方形、有细疣，网状细胞与绿色细胞相接处呈不规则梯形，嵌条 3~4 行细胞宽（图版Ⅰ：21-24）。中肋横切面具 6~8 个中央主细胞，背腹细胞较小，背表皮细胞稍小于腹表皮细胞，背面细胞壁具有较多短纵纹，中央主细胞基本位于中肋的中部（图版Ⅱ：6）。叶腹面细胞表面较为光滑，中肋细胞短，稍具凸起，叶细胞稀具乳状凸，细胞间隔明显；背面中肋凸起较为光滑，具细胞凹陷处具纵纹；叶背部细胞表面粗糙，具小疣（图版Ⅳ：16-17）。茎横切面近圆形，表皮和外皮部具 3~4 层小型厚壁细胞。内部为体积较大的薄壁细胞，细胞为不规则多边形，无明显中轴细胞的分化（图版III：6）。茎干时稍呈拧状，表面细胞为长方形排列，相邻细胞壁较厚（图版Ⅳ：18）。

2.7 八齿藓

灰绿色，稍带光泽。叶片基部长卵形，上部长舌形，具短尖，叶边近全缘，稀具微齿。中肋阔而厚，几乎沾满全叶片（图版Ⅰ：25-28）。中肋横切面背凸，无色细胞多层，背面 1~4 层，腹面 2~5 层，绿色细胞单层，位于无色细胞中央或偏背面，基部横切面呈四边形（图版Ⅱ：7），上部的呈三角形。叶腹面较为光滑，细胞为长方形排列，具长纵纹；背面稍凸起，较粗糙，细胞壁凹陷强烈，相邻细胞壁较高，呈挤压状（图版Ⅳ：19-20）。茎的横切面圆形，表皮和内外皮部细胞形态大小相似，细胞为不规则多边形，细胞壁稍有增厚。中轴具几个分化细胞，但分化不够明显，与皮部细胞形态相似，体积较小（图版III：7）。茎表面具假根毛，细胞壁薄，细胞壁不同程度的凹陷，强烈时挤压呈深沟状（图版Ⅳ：21）。

2.8 刺肋白睫藓

植物体黄绿色或灰白色，密集丛生，茎直立单一。叶干时略皱缩，卵状披针形，先端具尖锐小尖头，叶边多有小锯齿，中肋宽而薄，中央具加厚的细胞束（图版Ⅰ：29-32）。中肋横切面中央具黄色的加厚的细胞束，背面无色细胞层数多于腹面，背面 5~6 层厚壁细胞，腹面仅 2~3 层。叶细胞中绿色细胞横切面呈四边形，在叶的各部分均只有 1 层，位于无色细胞的中部，无色细胞 2 层（图版Ⅱ：8）。叶腹面较为光滑，细胞凹陷具长褶皱，背面稍粗糙，细胞壁凹陷强烈，中肋具刺疣，纹饰呈纵纹（图版Ⅳ：22-23）。茎的横切面近椭圆形，表皮和外皮部具 2~3 层小型厚壁细胞。内部为体积较大的薄壁细胞，细胞为不规则多边形，大型细胞间夹杂着小型细胞，无明显中轴细胞的分化（图版III：8）。茎干时稍拧，细胞壁较薄，呈网眼状凹陷，相邻细胞壁较高，呈挤压状形成，类似于深沟（图版Ⅳ：24）。

3 讨论与结论

叶片组织结构在植物分类学研究中有重要意义。苔藓植物没有真正的维管组织，水分的吸收主要靠叶片与环境的接触，而中肋是支撑叶片的结构，其厚度以及是否存在导水细胞是苔藓植物输水能力的一个重要体现（沙伟等，2008）。本研究中的 5 属 8 种花叶藓科植物叶片具有一些相似的形态结构特征，如绝大多数种类的叶片先端具短尖；叶片细胞的细胞壁厚，叶片细胞 1 层，具中肋等这些特征具有稳定的遗传性，属于较原始性状。但是，不同种类植物的叶细胞及中肋又有明显不同，如中肋横切面有无中央主细胞、背腹表皮细胞的分化、叶片横切面中叶细胞的形状等在属、种间的区分上具有重要的分类学意义。例如梯网花叶藓和兜叶花叶藓属于同科同属植物，从外形上很难区分，但结合解剖结构以及叶片表面的棘刺或疣即可辨别，兜叶花叶藓背腹细胞较大，梯网花叶藓背腹细胞较小且背面细胞壁具有较多短纵纹，而兜叶花叶藓藓中肋中央具 4 个主细胞，而梯网花叶藓中肋横切面具 6~8 个中央主细胞（图版Ⅱ：5-6；图版Ⅳ：13-18）。又如鞘刺网藓和卷叶网藓位于同一网藓属中，但其叶片组织结构差异明显，鞘刺网藓的中肋横切片中央具 4 个主细胞，而卷叶网藓中肋横切面中央具 2 个主细胞；鞘刺网藓叶背腹面粗糙，中肋具棘刺，而卷叶网藓叶背腹面光滑（图版Ⅱ：1-2；图版Ⅳ：1-6）。尽管均具有中央导水主细胞，但每一种藓类植物中肋横切面的主细胞在大小及分布均不同，可进行明显区分。从叶片解剖结构上看，本文所研究植物除八齿藓外

的其他藓类中肋横切面均具有中央主细胞，该特征表明花叶藓科植物可以充分的吸收和保持水分（王虹，2002）。同时花叶藓科植物的中肋厚壁细胞层数较多，可能与生存环境有关，可抵御强风，起到支撑保护作用（安飞飞等，2018；王虹，2017）。而叶片表面结构具有的纵纹结构，不仅可以在叶表面形成保护层，还可以减少水分的蒸腾,同时还可以减少其生活环境中细菌的入侵（图版Ⅱ：7；图版Ⅳ：19-21）（蔡敏等，2007）。

茎的解剖结构是藓类植物常用的分类依据之一。本研究中，从 8 种花叶藓科植物茎的解剖结构可看出，即使同科或同属种，不同种植物的茎具有明显的区别，如茎横切面的形状、细胞大小、中轴有无分化及茎表面细胞壁凹陷程度等。如八齿藓的茎具分化的中轴细胞（图版III：7）；匍网藓和黄匍网藓均属于匍网藓属植物，亲缘关系较近，但匍网藓茎的横切面近椭圆形，表皮细胞 1 层，无明显的内外皮部细胞分化，茎表面较光滑，细胞壁凹陷较浅（图版III：3；图版Ⅳ：7-9）；而黄匍网藓茎的横切面近圆形，表皮和外皮部具 2~3 层厚壁细胞，具明显的内外皮部的分化，茎干时表面细胞壁呈网眼状凹陷，相邻细胞壁较厚，部分呈挤压状形成深沟（图版III：4；图版Ⅳ：10-12）。在这 8 种花叶藓科植物中，茎横切面为圆形或是椭圆形与水分吸收有关（杨武等，2007）；表皮细胞壁均有不同程度增厚，这种结构有利于降低水分的蒸腾，可维持细胞内的固有水分（张显强和孙敏，2014）。有无内外皮部的分化，与细胞代谢相关（曹同，2010），而内外皮部细胞的存在可保护植物，免受强风以及湿热的环境的侵害，还可以提高输导及支撑作用，与贮水功能相关（詹琪芳等，2006），对其生存环境具有一定的适应性。多数藓类茎干时稍呈拧状，表皮细胞壁具有不同程度的凹陷，相邻细胞壁较高较厚，表面粗糙，存在假根，可以充分吸收空气中的水分（王虹，2014）。

综上，本研究的结果表明花叶藓科植物可以根据茎叶形态解剖结构及表面微形态的不同进行区分，如植物体叶片有无短尖；叶片边缘全缘或具齿或纤毛，中肋表面是否具有棘刺，例如，鞘刺网藓叶片边缘有纤毛，叶片中肋表面棘刺明显，而卷叶网藓叶片边缘没有纤毛，中肋光滑；网状细胞与绿色细胞交界处特征不同，如兜叶花叶藓网状细胞与绿色细胞交界处呈平截状，而梯网花叶藓网状细胞与绿色细胞交界处呈梯形；叶中肋横切中央主细胞的有无、分布、大小、厚壁细胞层数以及叶片背腹面存在的棘刺或疣等。并且，茎的差异比较明显，同时可根据茎的横切结构中有无中轴细胞的分化；横切面的形状如刺肋白睫藓茎的横切面形状为椭圆形，而八齿藓茎的横切面为圆形；细胞层数及大小和茎表面细胞壁凹陷程度、假根毛的存在等来进行花叶藓科植物的鉴定和分类工作。本研究将为该科植物属及种间分类的进一步研究提供参考依据，为后续相关科学研究奠定理论基础。

参考文献:

ABUDUAINI A，WANG H，2016. Anatomy studies of stems of ten species of *Brachythecium* from the Source Area of Urumqi River [J]. Arid Zone Res，33(5)：1081-1087. [艾菲热 阿布都艾尼，王虹，2016. 乌鲁木齐河源区 10 种真藓属植物茎的解剖学分析 [J]. 干旱区研究，**33**(5)：1081-1087.]

ANDREWS AL，1947. Taxonomic notes ax the Leucobryaceae [J] The Bryologist，50：319-326.

AN FF，CHEN T，YANG L，et al，2018. Comparison on Microstructure and Chlorophyll Fluorescence Parameter in Cassava [J]. Biotechnology Bulletin，(1)：104-109. [安飞飞，陈霆，杨龙，等. 木薯叶片显微结构及叶绿素荧光参数比较 [J]. 生物技术通报，2018(1)：104-109.]

BROTHERUS VF，1924. Musci [M]. Engler A.Die natürlichen Pflanzenfamilien，2 ed. Vol. 10. Leipzig：Wilhelm Engelmanm.

CAI M，ZHU H，WANG H，2007. Leaf epidermal morphology of *Lasianthus*(Rubiaceae) and its related genera in Asia [J]. Acta Bot Yunnanica，**29**(5)：497-512. [蔡敏，朱华，王红，2007. 亚洲粗叶木属及相关属植物叶表皮微形态特征 [J]. 云南植物研究，**29**(5)：497-512.]

CAO T，2010. Diversity of Bryophytes and their conservation [M]. Beijing：China Forestry Press：15-16. [曹同，2010. 苔藓植物多样性及其保护 [M]. 北京：中国林业出版社：15-16.]

CHEN BJ，WAN ZL，GAO Q，et al，1963. Moss Flora of China(Volume One) [M]. WAN ZL，GAO Q. Beijing：Science Press：5-13. [陈邦杰，万宗玲，高谦，等，1963. 中国藓类植物属志（上册） [M]. 北京：科学出版社，5-13.]

CHEN Q，SUN C，FANG YM，2013. Review on biomonitoring of Bryophyte to environment changes [J]. World For Res，**26**(2)：19-23. [陈勤，孙冲，方炎明，2013. 苔藓植物的生态环境指示作用 [J]. 世界林业研究，**26**(2)：19-23.]

FISHER KM，Wall DP，Yin KL，et al. 2007. Phylogeny of the Calymperaceae with a rank-free systematic treatment [J]. Brologist，**110**(1)：46-73.

HAN LF，1999. Comparative anatomical study on the leaves of seven domestic Mniaceae plants [J]. J Hebei Norm Univ(Nat. Sci.Edi.)，(2)：255-258. [韩留福，1999. 7 种国产提灯藓科(Mniaceae)植物叶片的比较解剖学研究 [J]. 河北师范大学学报(自然科学版)，(2)：255-258.]

HU RL，1987. Bryophyte [M]. Beijing：Higher Education Press：1-188. [胡人亮，1987. 苔藓植物学 [M]. 北京：高等教育出版社：1-188.]

JIAMG JY，2009. Anatomicaly study on stem and leaf of mosses of different life-forms [D]. Guizhou Univ. [蒋洁云，2009. 不同生活型的藓类植物茎叶的形态解剖研究 [D].贵州大学.]

JIANG JY，2010. Study on the morphology of different parts of stem of seven kinds of mosses [J].J Anhui Agric Sci，**38**(20)：10564-10566. [蒋洁云，2010. 7 种藓类植物茎不同部位的形态研究 [J]. 安徽农业科学，**38**(20)：10564-10566.]

JIA Y，HE S，2012. Species Catalogue of China Volume One [M]. Beijing Science Press：76-80. [贾渝，何思，2012. 中国生物物种名录第一卷 [M]. 北京：科学出版设：76-80.]

KINDBERG NC. 1897. Species of Eouropean and Noyth American ryineae (Mosses) [M]. Part 2. Linköping：Acrocarpous.

LA FARGE K，MISHIER BD，WHEELER JA，et al，2000. Phylogenetic relationships within the haplolepideous mosses [J]. Brologist，103：257-276.

SANTOS MB，STECH M，2016. Tackling relationships and species circumscriptions of *Octoblepharum*，an enigmatic genus of haplolepideous mosses (Dicranidae，Bryophyta) [J]. Syst Biodivers，**15**(1)：16-24.

SHA W，ZHENG YM，LI CX，et al，2008. The observation of morphology and anatomy of *Lyellia* from China [J]. Acta Bot，**28**(3)：269-272. [沙伟，郑云梅，李传香，等，2008. 中国产异蒴藓属(*Lyellia*)植物形态解剖比较观察 [J]. 植物研究，**28**(3)：269-272.]

VITT DH，1984. Classification of Bryopsida [M].Nichinan：The Hattori Botanical Laboratory：696-759.

WANG H，2002. The study of anatomical structure of stems and leaves in five Grimmiaceae mosses [J]. Acta Bot，**22**(1)：19-22. [王虹，2002. 五种紫萼藓科植物茎及叶的解剖学观察 [J]. 植物研究，**22**(1)：19-22.]

WANG H，JIANG YC，SU J，et al，2008. Anatomy studies of four mosses in glacier No.1 of Xinjiang [J]. Acta Bot，**28**(1)：25-29. [王虹，姜彦成，苏俊，等，2008. 一号冰川地区 4 种藓类植物的解剖学研究 [J]. 植物研究，**28**(1)：25-29.]

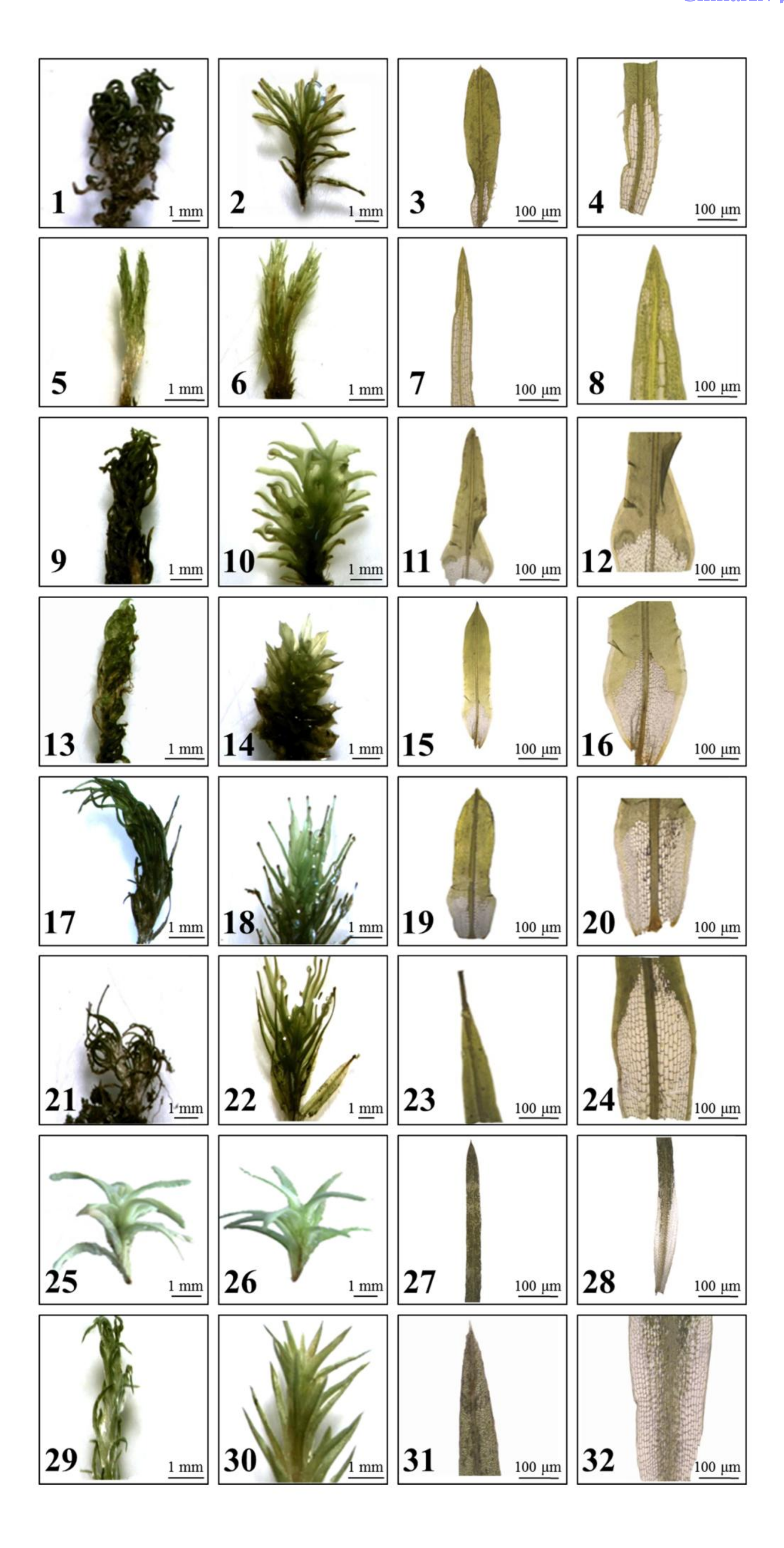
WANG H，LU X，CHEN QY，2017. Leaf morphological structure of twelve moss species from the No. 1 glacier of the Tianshan Mountains [J]. Plant Sci J，**35**(1)：21-29. [王虹，路雄，陈秋艳，2017. 新疆天山一号冰川地区 12 种藓类植物叶形态结构研究 [J]. 植物科学学报，**35**(1)：21-29.]

WANG H，LU YM，Wang JH，et al，2014. Anatomy studies of five species of Pottiaceae from Xinjiang [J]. Plant Sci J，**32**(1)：8-13. [王虹，逯永满，王剑虹，等，2014. 新疆 5 种丛藓科植物的解剖学研究 [J]. 植物科学学报，**32**(1)：8-13.]

YANG W，GUO SL，FANG F，2007. Comparison of stem structures of 30 mosses in different habitats [J]. J Zhejiang Norm Univ(Nat. Sci.Edi.)，**30**(4)：440-446. [杨武，郭水良，方芳，2007. 不同生境下 30 种藓类植物茎的比较解剖学研究 [J]. 浙江师范大学学报（自然科学版），**30**(4)：440-446.]

ZHAN QF，WANG YF，LI FX，et al，2006. Comparison of stem structures of eight mosses in two habitats [J]. Acta Bot. Bor-Occid.Sin，**26**(2)：217-225. [詹琪芳，王幼芳，李粉霞，等，2006. 两种生境下的 8 种藓类植物茎结构的比较解剖学研究 [J]. 西北植物学报，**26**(2)：217-225.]

ZHANG XQ，SUN M，2014. Comparative anatomy of stems of 12 species of saxicolous mosses in Guizhou karst rock desertification areas [J]. Guangdong Agric Sci，**41**(17)：165-169. [张显强，孙敏，2014. 喀斯特石漠化 12 种石生藓类茎的比较解剖学研究 [J]. 广东农业科学，**41**(17)：165-169.]

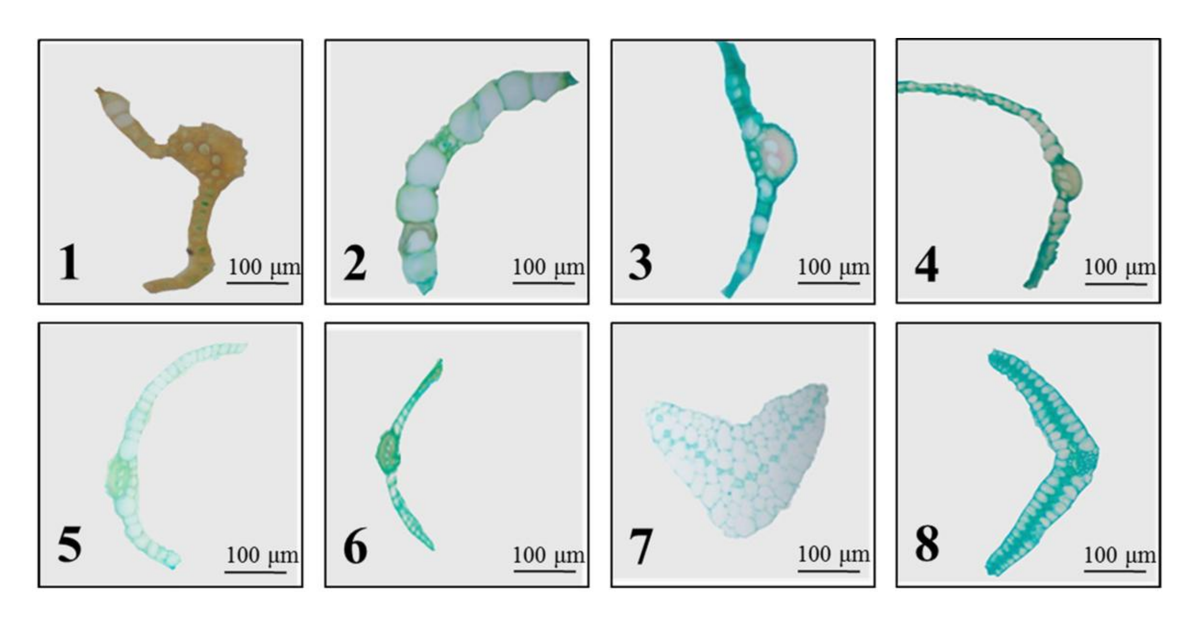

1
1 mm
2
1 mm
3
100 µm
4
100 µm
5
1 mm
6
1 mm
7
100 µm
8
100 µm
9
1 mm
10
1 mm
11
100 µm
12
100 µm
13
1 mm
14
1 mm
15
100 µm
16
100 µm
17
1 mm
18
1 mm
19
100 µm
20
100 µm
21
1 mm
22
1 mm
23
100 µm
24
100 µm
25
1 mm
26
1 mm
27
100 µm
28
100 µm
29
1 mm
30
1 mm
31
100 µm
32
100 µm

图版 Ⅰ 8 种花叶藓科植物的植物体及叶片形态特征

1. **鞘刺网藓**（干）； **2**. **鞘刺网藓**（湿）； **3**. **鞘刺网藓**完整叶片（×40）； **4**. **鞘刺网藓**叶片基部（×100）； **5**. **卷叶网藓**（干）； **6**. **卷叶网藓**（湿）； **7**. **卷叶网藓**完整叶片（×40）； **8**. **卷叶网藓**叶片上部（×100）； **9**. **匍网藓**（干）； **10**. **匍网藓**（湿）； **11**. **匍网藓**完整叶片（×40）； **12**. **匍网藓**叶片中部（×100）； **13**. **黄匍网藓**（干）； **14**. **黄匍网藓**（湿）； **15**. **黄匍网藓**完整叶片（×40）； **16**. **黄匍网藓**叶片基部（×100）； **17**. **兜叶花叶藓**（干）； **18**. **兜叶花叶藓**（湿）； **19**. **兜叶花叶藓**完整叶片（×40）； **20**. **兜叶花叶藓**叶片基部（×100）； **21**. **梯网花叶藓**（干）； **22**. **梯网花叶藓**（湿）； **23**. **梯网花叶藓**叶片上部（×40）； **24**. **梯网花叶藓**叶片基部（×100）； **25**. **八齿藓**（干）； **26**. **八齿藓**（湿）； **27**. **八齿藓**叶片上部（×40）； **28**. **八齿藓**叶片基部（×40）； **29**. **刺肋白睫藓**（干）； **30**. **刺肋白睫藓**（湿）； **31**.**刺肋白睫藓**叶片上部（×40）； **32**. **刺肋白睫藓**叶片基部（×40）

Plate Ⅰ Morphological characteristics of plant and leaves of 8 species of Calymperaceae

1. ***Syrrhopodon armatua*** (dry)； **2**. ***Syrrhopodon armatua*** (wet)； **3**. Full leaf of ***Syrrhopodon armatua*** (×40)； **4**. Leaf base of ***Syrrhopodon armatua*** (×100)； **5** ***Syrrhopodon involutus*** (dry)； **6**. ***Syrrhopodon involutus*** (wet)； **7**. Full leaf of ***Syrrhopodon involutus*** (×40)； **8**. Leaf upper of ***Syrrhopodon involutus*** (×100)； **9**. ***Mitthyridium fasciculatum*** (dry)； **10**. ***Mitthyridium fasciculatum*** (wet)； **11**. Full leaf of ***Mitthyridium fasciculatum*** (×40)； **12**. Leaf central of ***Mitthyridium fasciculatum*** (×100)； **13**. ***Mitthyridium flavum*** (dry)； **14**. ***Mitthyridium flavum*** (wet)； **15**. Full leaf of ***Mitthyridium flavum*** (×40)； **16**. Leaf base of ***Mitthyridium flavum*** (×100)；. **17**. ***Calymperes moluccense*** (dry)； **18**. ***Calymperes moluccense*** (wet)； **19**. Full leaf of ***Calymperes moluccense*** (×40)； **20**. Leaf base of ***Calymperes moluccense*** (×100)； **21**. ***Calymperes afzelii***. (dry)； **22**. ***Calymperes afzelii*** (wet)； **23**. Leaf upper of ***Calymperes afzelii*** (×40)； **24**. Leaf base of ***Calymperes afzelii*** (×100)； **25**. ***Octoblphaerum albidum*** (dry)； **26**. ***Octoblphaerum albidum*** (wet)； **27**. Leaf upper of ***Octoblphaerum albidum*** (×40)； **28**. Leaf base of ***Octoblphaerum albidum*** (×40)； **29**. ***Leucophanes albesens*** (dry)； **30**. ***Leucophanes albescens*** (wet)； **31**. Leaf upper of ***Leucophanes albescens*** (×40)； **32**. Leaf base of ***Leucophanes albescens*** (×40)

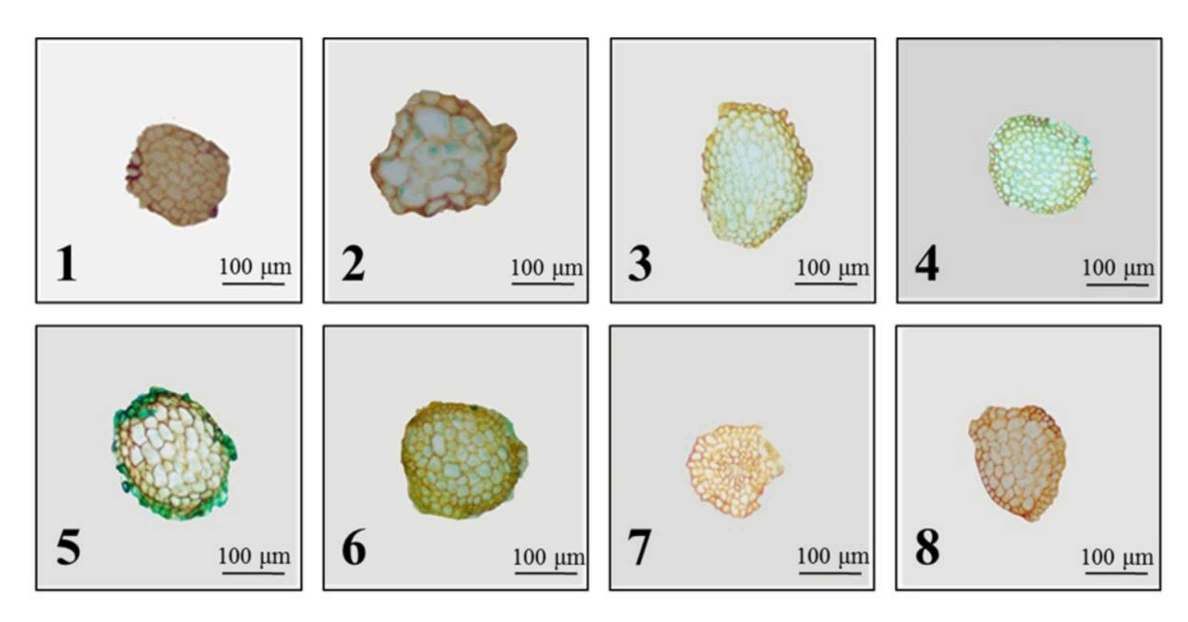


图版 II 8 种花叶藓科植物叶片横切面石蜡切片

1. **鞘刺网藓**（×200）； **2**. **卷叶网藓**（×200）； **3**. **匍网藓**(×200)； **4**. **黄匍网藓**(×200)； **5**. **兜叶花叶藓**(×200)； **6**. **梯网花叶藓**(×200)； **7**. **八齿藓**(×200)； **8**. **刺肋白睫藓**(×200)

Plate II Cross sections of leaves of 8 species of Calymperaceae by paraffin section

1. ***Syrrhopodon armatua*** (×200)； **2**. ***Syrrhopodon involutus*** (×200)； **3**. ***Mitthyridium fasciculatum*** (×200)； **4**.***Mitthyridium flavum*** (×200)； **5**. ***Calymperes moluccense*** Schwaegr.，Spec.Musc. Suppl. (×200)； **6**. ***Calymperes afzelii*** (×200)； **7**. ***Octoblphaerum albidum*** (×200)； **8**. ***Leucophanes octoblepharioides*** (×200)

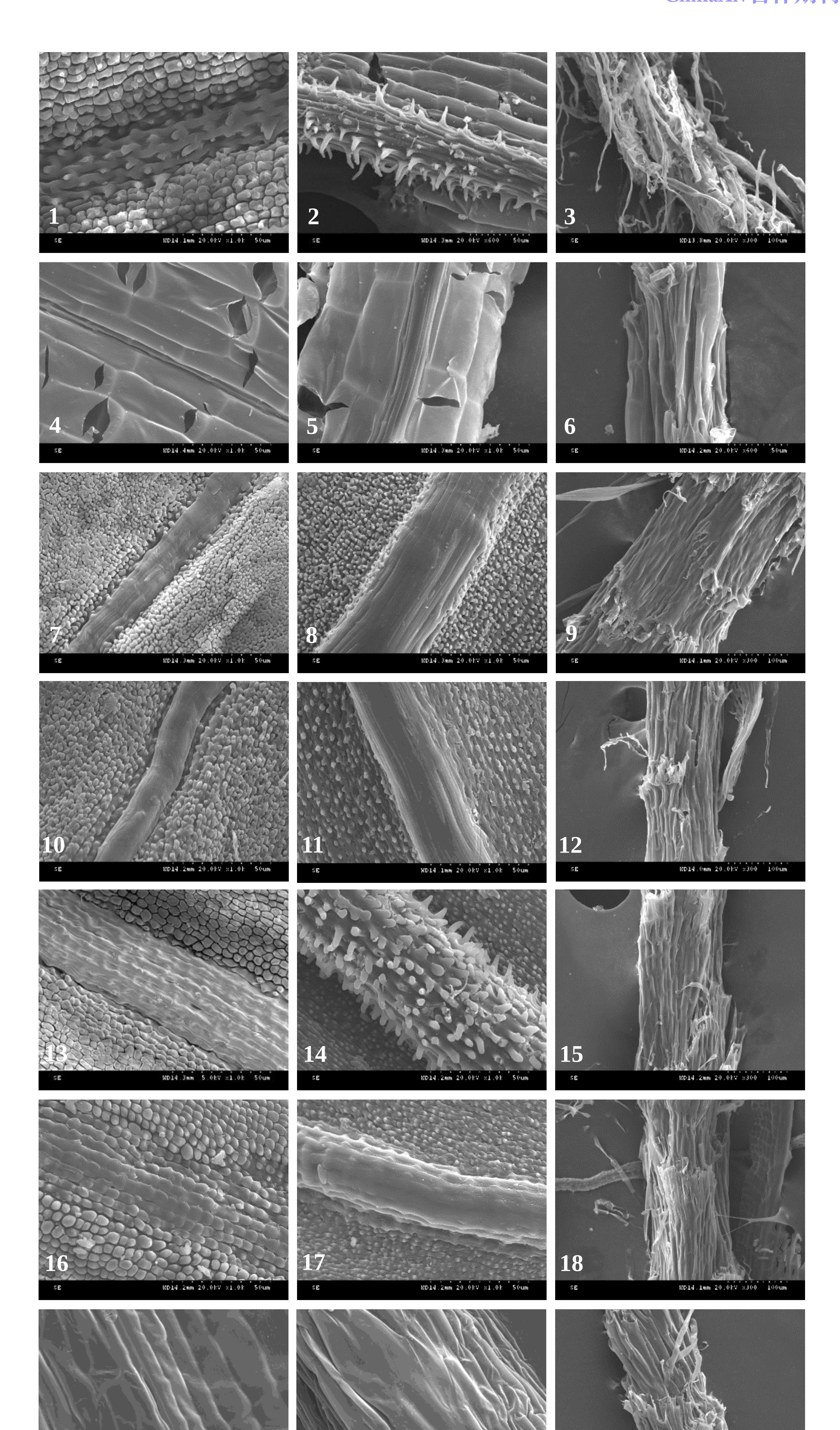


图版 III 8 种花叶藓科植物的茎横切面石蜡切片

1. **鞘刺网藓**(×200)； **2**. **卷叶网藓**(×200)； **3**. **匍网藓**(×200)； **4**. **黄匍网藓**(×200)； **5**. **兜叶花叶藓**(×200)； **6**. **梯网花叶藓**(×200)； **7**. **八齿藓**(×200)； **8**. **刺肋白睫藓**(×200)

Plate III Cross sections of stems of 8 species of Calymperaceae by paraffin section

1. ***Syrrhopodon armatua*** (×200)； **2**. ***Syrrhopodon involutus*** (×200)； **3**. ***Mitthyridium fasciculatum*** (×200)； **4**. ***Mitthyridium flavum*** (×200)； **5**. ***Calymperes moluccense*** (×200)； **6**. ***Calymperes afzelii*** (×200)； **7**. ***Octoblphaerum albidum*** (×200)； **8**. ***Leucophanes octoblepharioides*** (×200)


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

图版 Ⅳ 扫描电镜下 8 种花叶藓科植物的茎叶表面

1. 鞘刺网藓腹面(×1000)； **2**. 鞘刺网藓背面(×600)； **3**. 鞘刺网藓茎表面(×300)； **4**. 卷叶网藓腹面(×1000)； **5**. 卷叶网藓背面(×1000)； **6**. 卷叶网藓茎表面(×600)； **7**. 匍网藓腹面(×1000)； **8**. 匍网藓背面(×1000)； **9**. 匍网藓茎表面(×300)； **10**. 黄匍网藓腹面(×1000)； **11**. 黄匍网藓背面(×1000)； **12**. 黄匍网藓茎表面(×300)； **13**. 兜叶花叶藓腹面(×1000)； **14**. 兜叶花叶藓背面(×1000)； **15**. 兜叶花叶藓茎表面(×300)； **16**. 梯网花叶藓腹面(×1000)； **17**. 梯网花叶藓背面(×1000)； **18**. 梯网花叶藓茎表面(×300)； **19**. 八齿藓腹面(×1000)； **20**. 八齿藓背面(×500)； **21**. 八齿藓茎表面(×300)； **22**. 刺肋白睫藓腹面(×1000)； **23**. 刺肋白睫藓背面(×1000)； **24**. 刺肋白睫藓茎表面(×300)

Plate Ⅳ SEM photographs of the stem and leaf surfaces of 8 species of Calymperaceae

1. Ventral side of ***Syrrhopodon armatua*** (×1000)； **2**.Dorsal side of ***Syrrhopodon armatua*** (×600)； **3**. Stem surface of ***Syrrhopodon armatua*** (×300)； **4**. Ventral side of ***Syrrhopodon involutus*** (×1000)； **5**. Dorsal side of ***Syrrhopodon involutus*** (×1000)； **6**. Stem surface of ***Syrrhopodon involutus*** (×600)； **7**. Ventral side of ***Mitthyridium fasciculatum*** (×1000)； **8**. Dorsal side of ***Mitthyridium fasciculatum*** (×1000)； **9**. Stem surface of ***Mitthyridium fasciculatum*** (×300)； **10**. Ventral side of ***Mitthyridium flavum*** (×1000)； **11**. Dorsal side of ***Mitthyridium flavum*** (×1000)； **12**. Stem surface of ***Mitthyridium flavum*** (×300)； **13**. Ventral side of ***Calymperes moluccense*** (×1000)； **14**. Dorsal side of ***Calymperes moluccense*** (×1000)； **15**. Stem surface of ***Calymperes moluccense*** (×300)； **16**. Ventral side of ***Calymperes afzelii*** (×1000)； 17. Dorsal side of ***Calymperes afzelii*** (×1000)； **18**. Stem surface of ***Calymperes afzelii*** (×300)； **19**. Ventral side of ***Octoblphaerum albidum*** (×1000)； **20**. Dorsal side of ***Octoblphaerum albidum*** (×500)； **21**. Stem surface of ***Octoblphaerum albidum*** (×300)； **22**. Ventral side of ***Leucophanes octoblepharioides*** (×1000)； **23**. Dorsal side of ***Leucophanes octoblepharioides*** (×1000)； **24**. Stem surface of ***Leucophanes octoblepharioides*** (×300)